NUTRICIÓN MINERAL DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

Ranferi Maldonado Torres*; Ma. Edna Álvarez Sánchez;
David Cristóbal Acevedo; Everardo Ríos Sánchez

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. km 38.5 carretera México-Texcoco.
Chapingo, Estado de México. MÉXICO. C.P. 56230
Correo-e: ranferimt@yahoo.com.mx (*Autor para correspondencia)

RESUMEN

Se determinaron el valor nutrimental, rendimiento de forraje y concentración de nitrato en forraje verde hidropónico (FVH) obtenido de trigo. Se evaluaron seis tratamientos: T_0, sólo agua; del T_1 al T_4 soluciones nutritivas formuladas a partir del método Steiner (1961), modificando la relación NO_3^-/NH_4^+ en mol·m^{-3} (T_1=12/0, T_2=7.3/0.7, T_3=7.0/1.4, T_4= 6.0/2.8), y el T_5, solución nutritiva propuesta por FAO, (relación NO_3^-/NH_4^+ de 3.2/0.4 en mol·m^{-3}). Se sembró, a una densidad de 3.2 kg·m^{-2} en charolas de plástico, semilla de trigo de la variedad Rebeca F200 previamente remojada en agua potable durante 12 h. Se usó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Se midió altura de planta (AP), rendimiento por metro cuadrado (REMC), relación de conversión de semilla a forraje (RC), materia seca, cenizas, fibra, concentración de proteína y nitrato. Los tratamientos T_2 (19.0 %), T_1 (18.5 %), T_3 (17.9 %) y T_4 (16.75 %) tuvieron el mayor porcentaje de proteína. El menor contenido de nitrato en el FVH se obtuvo con los tratamientos T_0 (3,542.2 mg·kg^{-1}) y T_3 (3,348.2 mg·kg^{-1}). Aunque al testigo T_0 no se le aplicó nitrógeno, tuvo un porcentaje de proteína 15.3 %, que se considera bueno. El mejor tratamiento para la producción de FVH fue el T_3, con 17.9 % de proteína y con una concentración de nitrato de 3,348.2 mg·kg^{-1}. La aplicación de un 17.5 % del N total en forma de amonio disminuyó la concentración de nitrato, mientras que con 33.3 % de NH_4^+ se manifestaron efectos de tóxicos en las plántulas.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Soluciones nutritivas, trigo, valor nutrimental, nitrato.

MINERAL NUTRITION OF HYDROPONIC GREEN FORAGE

ABSTRACT

In this study we determined the nutritional value, forage yield and nitrate concentration in hydroponic green forage (HGF) obtained from wheat plants. Six treatments were evaluated, which consisted of T_0, where solely tap water was applied; from T_1 to T_4 we tested nutrient solutions based on the Steiner (1961) method, which modified the ratio of NO_3^-/NH_4^+ in mol·m^{-3} (T_1=12/0, T_2=7.3/ 0.7, T_3=7.0/1.4, T_4= 6.0/2.8), and T_5 consisted of a nutrient solution proposed by FAO, (ratio NO_3^-/NH_4^+ of 3.2/0.4 in mol·m^{-3}). Wheat seeds (Rebeca F200 variety) previously soaked in solely tap water for 12 h were sown at a density of 3.2 kg·m^{-2} using plastic trays. We used a completely randomized design with four replications. Plant height (PH), yield per square meter (YISM), conversion ratio from seed to forage (CR), dry matter, ash, fiber, protein and nitrate concentration were measured. Treatments T_2 (19.0 %), T_1 (18.5 %), T_3 (17.9 %) and T_4 (16.75 %) had the highest concentration of protein. The lowest concentration of nitrate in the HGF was obtained in treatments T_0 (3,542.2 mg·kg^{-1}) and T_3 (3,348.2 mg·kg^{-1}). Although nitrogen was not applied to the control in T_0, it showed a protein percentage of 15.3 %, which can be considered acceptable. The best treatment for the production of green hydroponic forage was T_3, with a 17.9 % of protein and a nitrate concentration of 3,348.2 mg·kg^{-1}. Applying 17.5 % N in the form of ammonium reduced the concentration of nitrate. On the other hand, with 33.3 % of NH_4^+ toxic effects in seedlings were observed.

ADDITIONAL KEYWORDS: Nutrient solutions, wheat, nutritive value, nitrate.

Recibido: 10 de octubre, 2011
Aceptado: 19 de junio, 2013
doi: 10.5154/r.rchsh.2011.10.053

INTRODUCCIÓN

El 40 % del territorio de mexicano vivió durante 2011 y 2012 una prolongada sequía con efectos muy graves, tanto en la producción agrícola como ganadera, con pérdidas muy cuantiosas en 28 estados afectados que representan el 56.2 % del territorio nacional. Principalmente en el norte del país fueron afectadas 2.7 millones de hectáreas y murieron más de cien mil cabezas de ganado por falta de alimento y de agua (Anónimo, 2012). Por lo anterior, el forraje verde hidropónico representa una alternativa de producción de alimento para ganado vacuno, caprino, ovino y equino, ya que es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta calidad nutricional, de gran sanidad y producido muy rápidamente (9 a 15 días). En la práctica se germinan granos, semillas de cereales o de leguminosas, los cuales se hacen crecer bajo condiciones ambientales controladas -luz, temperatura y humedad- en ausencia de suelo. Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo (Anónimo, 2001). El forraje verde hidropónico (FVH) es una técnica de producción de alimento para el ganado que utiliza entre 30 y 50 veces menos agua para producir los mismos rendimientos que las especies forrajeras cultivadas en suelo, pero en una superficie 100 veces menor y sin utilización de agroquímicos. Para obtener de 1 a 8 kg de materia seca de alimento para el ganado se emplea 1 m^3 de agua de riego cultivando especies forrajeras en suelo, mientras que utilizando este mismo volumen de agua en la producción de FVH se obtienen alrededor de 80 kg de materia seca de forraje de buena calidad nutricional para alimentar diversos tipos de ganado (Anónimo, 2001). El FVH posee el suficiente valor nutrimental para ser un suplemento alimenticio ideal para mantener al ganado vivo en temporadas de sequía severa (López *et al*., 2012).

Existen unidades hidropónicas forrajeras que tienen diversos grados de sofisticación en su infraestructura, ya que cuentan con dispositivos de control ambiental necesarios, especialmente en países que presentan temperaturas extremas (Valdivia, 1997). Para el crecimiento del forraje verde hidropónico el intervalo más apropiado de temperatura es entre 20 y 28 °C, humedad relativa no inferior a 90 %. Se deben evitar los encharcamientos dentro de los contenedores y se requiere circulación de aire dentro del cuarto de producción (Anónimo, 2001). Vargas-Rodríguez (2008) menciona que la densidad de siembra varía con la especie y recomienda para el trigo una densidad de 2.4 $kg \cdot m^{-2}$. Cerrillo *et al*. (2012) reporta que la mejor densidad de siembra para trigo y avena es de 5.0 $kg \cdot m^{-2}$. López-Aguilar *et al*. (2009) evaluaron densidades de maíz y con 2.5 $kg \cdot m^{-2}$ produjeron el mayor rendimiento. Otros investigadores han reportado dosis de siembra entre 2.2 a 3.4 $kg \cdot m^{-2}$ (Romero *et al*. 2009; López-Aguilar *et al*. 2009), tomando en cuenta que la disposición de las semillas no supere los 1.5 cm de profundidad en la bandeja (Anónimo, 2001).

Por otro lado, el suministro de elementos esenciales en la producción de forraje verde hidropónico se realiza a

INTRODUCTION

In 2011 and 2012, the 40 % of Mexican territory experienced a prolonged drought with very serious effects, both agricultural and livestock production, with very heavy losses in 28 affected states representing 56.2 % of the country. Mainly in the north of the country 2.7 million hectares were affected and more than a hundred thousand head of cattle died due to the lack of food and water (Anonymous, 2012). Therefore, hydroponic green forage represents an alternative production of feed for cattle, goats, sheep and horses, since it is a system of plant biomass production of high nutritional quality, high health and produced very quickly (9 to 15 days). In practice grains, seeds of cereals or legumes are germinated; these seeds are grown under controlled environmental conditions (light, temperature and humidity) in absence of soil. Usually oat, barley, maize, wheat and sorghum seeds are used (Anonymous, 2001). The hydroponic green forage (HGF) is a is a technique for producing livestock feed that uses between 30 and 50 times less water to produce the same yields as forage species grown in soil, but in an area 100 times smaller and without the use of agrochemicals. To have 1 to 8 kg of dry matter for livestock feed, we use 1 m^3 of irrigation water growing forage species in soil, on the other hand, using the same volume of water in the production of HGF we obtain around 80 kg of matter dry of forage of acceptable nutritional quality to feed different types of livestock (Anonymous, 2001). The HGF has enough nutritional value to be an ideal food supplement to keep livestock in times of severe drought (López *et al*., 2012).

There are hydroponic forage units that have different degrees of sophistication in their infrastructure, because they have environmental control devices required, especially in countries with extreme temperatures (Valdivia, 1997). The most appropriate temperature range is between 20 and 28 °C, relative humidity not less than 90 % for hydroponic green forage growth. Water logging inside the containers most be avoid and air circulation inside the production room is required (Anonymous, 2001). Vargas-Rodríguez (2008) mentions that sowing density varies with the species and recommends for wheat a density of 2.4 $kg \cdot m^{-2}$. Cerrillo *et al.* (2012) reports that the best sowing density for wheat and oats is 5.0 $kg \cdot m^{-2}$. López-Aguilar *et al*. (2009) evaluated the densities of maize and 2.5 $kg \cdot m^{-2}$ produced the highest yield. Other researchers have reported seed rates between 2.2 to 3.4 $kg \cdot m^{-2}$ (Romero *et al*. 2009; López-Aguilar *et al*. 2009), taking into account that the provision of seeds does not exceed 1.5 cm deep in the tray (Anonymous, 2001)

Furthermore, the provision of essential elements in the production of hydroponic green fodder is conducted by means of a nutrient solution. Young fertilized plants with high doses of nitrogen fertilizers accumulate NO_3^- and other non-protein N compounds (5,000 a 15,000 $mg \cdot kg^{-1}$), which can lead to the poisoning of ruminants (Horrocks and Vallentine, 1999; Church, 1974). High nitrate levels are

través de una solución nutritiva. Las plantas jóvenes fertilizadas con altas dosis de fertilizantes nitrogenados acumulan NO_3^- y otros compuestos de N no proteico (5,000 a 15,000 mg·kg^{-1}), que puede provocar el envenenamiento de rumiantes (Horrocks y Vallentine, 1999; Church, 1974). Altos niveles de nitrato se presentan cuando el forraje desarrolla en días nublados (Horrocks y Vallentine, 1999). El NO_3^- *per se* es tóxico para los animales. Sin embargo, su efecto cambia cuando es reducido a NO_2^- en el rumen. El NO_2^- oxida al Fe^{2+} de la hemoglobina Fe^{3+}, lo que produce metahemoglobina, un pigmento café incapaz de transportar oxígeno (McDonald *et al*. 1981). Horrocks y Vallentine (1999) indican que ingerir niveles subletales de NO_3^- puede causar aborto, reduce el crecimiento y la producción de leche e interfiere con la utilización de la vitamina A. McDonald *et al*. (1981) señalan que los síntomas de toxicidad producen desde temblores, tambaleo, respiración acelerada y la muerte. Los fetos también son sensibles a este tipo de intoxicación, aunque es una causa condicionante de la aparición de hipomagnesemia y acetonemia (Espejo y Pearson, 1979). McDonald *et al*. (1981) reporta que los síntomas de toxicidad se puede presentar en animales, que consumen forrajes con más de 0.7 g·kg^{-1} NO_3^- en base seca, aunque la concentración letal es de 2.2 g·kg^{-1}. Estudios con rumiantes han demostrado que 0.05 % de NO_3^- con base al peso del animal es suficiente para una dosis letal. Un consumo lento y gradual de NO_3^- por los animales en presencia de carbohidratos fácilmente disponibles (azúcar, maíz, etc.) protegen y ofrecen un grado de tolerancia a la intoxicación, debido al pH ácido del rumen que facilita la reducción de NO_3^-, aunado a la adición de S que reduce el riesgo de intoxicación (Church, 1974).

Referente al valor nutrimental del forraje verde hidropónico (FVH), Resh (2001) reporta que el forraje derivado del trigo tiene un valor nutricional equivalente a 3 kg de alfalfa fresca, por lo que una vaca lechera cubre sus requerimientos diarios con 16 a 18 kg de FVH. El contenido de proteína cruda (PC) (13-14 %) y energía metabólica (2.4-2.5 Mcal·kg^{-1} MS) del FVH es suficiente para satisfacer los requerimientos de diversos tipos de ganado (Anónimo, 2001). Otro criterio comúnmente utilizado para determinar la calidad del forraje es la digestibilidad. El contenido de fibra detergente ácida (FDA) es una cuantificación de la fracción indigerible. En el FVH la FDA varía con el tiempo de cosecha: se observan valores menores en la etapa inicial y valores mayores en la etapa final. El requerimiento de fibra por el ganado es un factor importante en diversos procesos fisiológicos. La FDA es el mejor indicador de los requerimientos de fibra para una fermentación saludable en el rumen. Las raciones del ganado lechero deben contener 19-27 % de FDA. Si el suplemento es menor, el contenido de grasa en la leche puede disminuir.

Por lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo evaluar diferentes soluciones nutritivas en la producción, calidad y concentración de nitrato en el forraje verde de trigo.

seen when the forage develops on cloudy days (Horrocks and Vallentine, 1999). The NO_3^- *per se* is toxic to animals. However, its effect changes when is reduced to NO_2^- in the rumen. NO_2^- oxidizes Fe^{2+} of the hemoglobin Fe^{3+}, producing methemoglobin, a brown pigment unable to carry oxygen (McDonald *et al*. 1981). Horrocks and Vallentine (1999) indicate that ingesting sublethal levels of NO_3^- can provoke abortion, reduces growth and milk production and interferes with the use of vitamin A. McDonald *et al*. (1981) note that the symptoms of toxicity produce from shakes, staggering, rapid breathing and death. Fetuses are also sensitive to this type of poisoning, although it is a determinant cause of the occurrence of hypomagnesaemia and ketosis (Espejo and Pearson, 1979). McDonald *et al*. (1981) reportes that toxicity symptoms can occur in animals that consume forage with more than 0.7 g·kg^{-1} NO_3^- dry basis, although the lethal concentration is 2.2 g·kg^{-1}.Ruminants studies have shown that 0.05 % of NO_3^- based on the animal's weight is sufficient for a lethal dose. A slow and gradual consumption of NO_3^- by the animals in the presence of readily available carbohydrates (sugar cane, maize, etc.) protect and offer a degree of tolerance to poisoning due to the acidic pH of the rumen that facilitates the reduction of NO_3^-, coupled with the addition of S which reduces the risk of toxicity (Church, 1974).

Concerning the nutritional value of hydroponic green forage (HGF), Resh (2001) reports that forage from wheat has a nutritional value equivalent to 3 kg of fresh alfalfa, so that a dairy cow covers its daily requirement with 16 -18 kg HGF. The content of crude protein (CP) (13-14%) and metabolic energy (2.4-2.5 Mcal·kg^{-1} DM) of HGF is enough to meet the requirements of various types of livestock (Anonymous, 2001). Digestibility is another commonly used criterion for determining the quality of forage. The acid detergent fiber content (ADF) is a quantification of the indigestible fraction. ADF varies with time of harvest in HGF: lower values in the initial stage and higher values in the final stage are shown. The requirement of fiber for cattle is an important factor in diverse physiological processes. The ADF is the best indicator of fiber requirements for a healthy fermentation in the rumen. Dairy cattle rations should contain 19 to 27 % ADF. Fat content in milk may decrease, if the supplement is lower.

Therefore, this study aimed to evaluate different nutrient solutions in the production, quality and concentration of nitrate in wheat green forage.

MATERIALS AND METHODS

This study was conducted in the facilities of the Universidad Autónoma Chapingo, in a chapel-shaped greenhouse with glass cover. In the production module a temperature between 16 and 20 °C was maintained with an average of 18 °C. The relative humidity (RH), registered with a hygrometer was maintained between 30.4 and 78.4 %,

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo, en invernadero tipo capilla con cubierta de vidrio. En el módulo de producción se mantuvo una temperatura entre 16 y 20 °C, con un promedio de 18 °C. La humedad relativa (HR), registrada con un termohigrómetro, se mantuvo entre 30.4 y 78.4 %, con un promedio de 54.4 %. Sobre una estructura metálica de 2.5 m de largo, 0.66 m de ancho y 0.62 m de alto, se instalaron charolas de plástico blanco de una superficie de 0.25 m^2 (61 x 41 x 7.5 cm de largo, ancho y alto, respectivamente). Las charolas se colocaron con un desnivel de 6.0 % y cada una se perforó con cuatro orificios equidistantes con una broca de 3/8" en el extremo inferior para drenar el exceso de agua. Las diferentes soluciones nutritivas se prepararon en recipientes de 150 litros de capacidad. Por medio de una bomba sumergible de 0.25 HP, cada solución fue inyectada en la parte superior de cada charola a través de un poliducto negro de 3/4" de diámetro y distribuida a la toda la semilla por gravedad a través de cuatro espaguetis de 30 cm de largo por 0.7 mm de diámetro. El excedente de solución nutritiva se colectó a través de canaletas de fibra de vidrio de 2.5 m de largo ubicadas en la parte baja de cada charola. En el Cuadro 1 se indica la composición de los seis tratamientos, de los cuales T_0 fue agua de la llave; cuatro (T_1, T_2, T_3 y T_4) fueron diseñados mediante la metodología propuesta por Steiner (1961), ajustada a pH 6.0 y modificada para incluir amonio y generar las relaciones NH_4^+/NO_3^-, y el T_5 correspondió a la solución nutritiva recomendada por FAO (Anónimo, 2001).

Material vegetal

Se utilizó semilla de trigo (*Triticum aestivum* L.) variedad Rebeca F2000 con 90 % de germinación, la cual fue limpiada eliminando semillas quebradas e impurezas. Se pesaron en una balanza granataria 0.80 kg de semilla seca por charola, se lavaron y desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 6 % durante 3 min y nuevamente se lavaron con agua destilada. Después, fueron introducidas en una bolsa de malla plástica y sumergidas en 2 litros de agua potable durante 12 h. Al término de este periodo se

with an average of 54.4 %. White plastic trays with of 0.25 m^2 (61 x 41 x 7.5 cm in length, width and height, respectively) were placed on a metal frame (2.5 m long, 0.66 m wide and 0.62 m high). The trays were placed with a drop of 6.0 % and each tray was pierced (four equidistant holes were made on the bottom to drain excess water) using a 3/8" drill bit. The different nutrient solutions were prepared using containers of 150 liters. Using a submersible pump of 0.25 HP, each solution was injected into the top of each tray through a pipeline black of 3/4" diameter and distributed to all the seed by gravity using four spaghetti (30 cm long and 0.7 mm diameter). The surplus of the nutrient solution was collected through fiberglass gutters of 2.5 m long placed at the bottom of each tray. Table 1 shows the composition of the six treatments , T_0 consisted of solely tap water; four (T_1, T_2, T_3 and T_4) treatments were designed using the methodology proposed by Steiner (1961), adjusted to pH 6.0 and modified to include ammonium and generate ratios NH_4^+/NO_3^-, and T_5 corresponded to the nutrient solution recommended by FAO (Anonymous, 2001).

Plant material

We used wheat seeds (*Triticum aestivum* L.) Rebeca F2000 variety with 90 % germination, which was cleaned removing broken seeds and impurities. A total of 0.80 kg dry seed per tray were weighted using a grain balance, then washed and disinfected using a solution of sodium hypochlorite at 6 % for 3 min and washed again using distilled water. Then, the seeds were placed in a plastic mesh bag and immersed in 2 liters of solely tap water for 12 h. At the end of this period the excess water was drained and the seeds were dispersed on each tray forming a 1-cm-thick layer.

Micronutrient concentrations was the same for all the nutrient solutions, with the exception of solely tap water, its concentration is shown in Table 2.

Experimental Design

We used a completely randomized design with four replications. Each tray represented an experimental unit

CUADRO 1. Composición de las soluciones nutritivas y relaciones NO_3^-/NH_4^+.

TABLE 1. Composition of the nutrient solutions and ratios NO_3^-/NH_4^+.

Tratamiento / Treatment	NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	SO_4^{2-}	$NH_4^+:NO_3$
				---------- $mol \cdot m^{-3}$ ----------				
T_0	0	3.68	1.39	1.23	0.30	0.40	1.03	0:100
T_1	0	7.01	4.51	2.00	11.98	1.00	3.50	0:100
T_2	1.00	6.61	4.31	3.81	10.98	1.40	3.79	8.3:91.6
T_3	2.03	6.08	4.06	2.03	10.12	1.23	4.46	16.7:83.3
T_4	4.11	5.12	7.17	2.05	8.17	1.63	5.31	33.4:66.6
T_5	0.40	2.43	0.62	0.74	3.10	0.50	1.03	11.4:88.6

CUADRO 2. Concentración de micronutrientes adicionada a las soluciones nutritivas.

TABLE 2. Concentration of micronutrients added to the nutrient solutions.

Elemento / Element	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
	------------------------------------mg·litro^{-1}----------------------------------					
	0.5	0.2	0.1	0.01	0.2	0.04

escurrió el exceso de agua y se dispersó la semilla en cada charola formando una capa de 1 cm de espesor.

La concentración de micronutrientes fue igual para todas las soluciones nutritivas, con excepción del agua de la llave, y su concentración se indica en el Cuadro 2.

Diseño experimental

Se usó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Cada charola representó una unidad experimental y el factor de estudio fueron las soluciones nutritivas y el tratamiento con sólo agua.

Riegos

Durante los primeros tres días se aplicaron siete riegos con agua limpia, evitando que las semillas ubicadas en la parte superior de la bandeja se deshidrataran. En el cuarto día se formó el manto de raíces y se inició la aplicación de los tratamientos, suministrando 1.3 litros de solución cada 2 horas, de a las 10:00 h a las 16:00 h, para un total de cuatro riegos al día. Después de la aplicación de cada tratamiento, la tubería fue enjuagada con agua limpia para evitar la contaminación del tratamiento siguiente. El día 15 se regó con agua limpia para evitar acumulación de sales en el sistema radical del germinado. La cosecha se realizó colectando el total de la biomasa que se encontraba en las charolas de producción, constituida por hojas, tallos y raíces.

Variables evaluadas

La altura de planta (AP) en centímetros, se midió en una muestra de diez plántulas a partir de la semilla al ápice. El rendimiento en peso fresco de forraje hidropónico (REMC) en kg·m^2 se consideró como el forraje producido por metro cuadrado de charola. La relación de conversión (RC) fue considerada como la relación entre la cantidad de forraje producida en un contenedor y la cantidad de semillas sembradas por contenedor. La materia seca total de la muestra se determinó una vez concluido el ciclo de cultivo del forraje: a los 15 días después de la siembra, se tomó una muestra de 200 g de forraje por charola, la cual se secó a una temperatura a 60 ºC hasta peso constante y después a 100 ºC hasta peso constante. Para el cálculo se utilizó la fórmula propuesta por Harris (1970), que se presenta a continuación:

$$MST = \frac{A \cdot B}{100}$$

and the study factors were the nutrient solutions and water and the treatment with solely tap water.

Irrigation

During the first three days, seven irrigations were applied using clean water, avoiding the dehydration of the seeds placed on the top of the tray. On the fourth day, the root mantle was formed and we started the application of treatment, providing 1.3 liters of solution every two hours, from 10:00 to 16:00 h, for a total of four irrigations per day. After the application of each treatment, the tubing was rinsed with clean water to prevent the contamination of the next treatment. The 15th day, it was irrigated with clean water to prevent salt accumulation in the germinated root system. Harvest was conducted collecting the total biomass found on the production trays, consisting of leaves, stems and roots.

Variables assessed

Plant height (PH) in centimeters, was measured in a sample of ten seedlings from the seed to the apex. The fresh weight yield of hydroponic forage (YISM) kg·m^2 was considered as the forage produced per tray square meter. The conversion ratio (CR) was considered as the ratio between the amount of forage produced in a container and the number of seeds sown per container. The total dry matter of the sample was determined once the forage growing season ended: 15 days after sowing, a sample of 200 g forage per tray was took, this sample was dried at a temperature of 60 ºC to constant weight and then at 100 ºC to constant weight. The formula proposed by Harris (1970), presented below, was used:

$$TDM = \frac{A \cdot B}{100}$$

Where:

TDM= Total Dry Matter (%)

A = Percentage of dry matter at 60 ºC

B = Percentage of dry matter at 100 ºC

Total ash percentage was measured by determining total ash and organic matter after all combustible material was burnt (oxidized) at a temperature of 500 ºC using a muffle furnace (Anonymous, 1995)

Donde:

MST= Materia seca total (%)

A = Porcentaje de materia seca a 60 °C

B = Porcentaje de materia seca a 100 °C

El porcentaje de cenizas totales se cuantificó por medio de la determinación de cenizas totales y materia orgánica después de que todo el material combustible ha sido quemado (oxidado) a una temperatura de 500 °C en una mufla (Anónimo, 1995).

El porcentaje de fibra o materia vegetal insoluble, que es digerida mediante la fermentación microbiana en el tracto digestivo de los animales, más no por las enzimas proteolíticas y dialíticas, se cuantificó al determinar la fibra insoluble en detergente neutro por el método de Van Soest y Wine (1967). Por su parte, el porcentaje de proteína cruda, se cuantificó por el procedimiento de micro Kjeldahl propuesto por Harris (1970) a partir del porcentaje del nitrógeno total y multiplicado por el factor de 5.83. El nitrato se determinó mediante el método colorimétrico del ácido salicílico propuesto por Cataldo *et al.* (1975).

El análisis de varianza y la prueba de comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) de los resultados obtenidos se realizó usando el paquete estadístico SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de calidad

En el Cuadro 3 se presentan las comparaciones de medias por Tukey ($P \leq 0.05$) para las variables altura de planta (AP), relación de conversión de semilla (RCS) y rendimiento por metro cuadrado (REMC).

Para la variable AP se observaron diferencias significativas. La mayor altura se logró con el tratamiento T_1, el cual no superó al T_3. De la misma forma, el tratamiento T_3 fue estadísticamente igual al T_2. El tratamiento T_4 mostró el mismo efecto que el T_2, mientras que el T_4 y el T_0 no resultaron diferentes significativamente. Por último, el T_5 y el T_0 (agua) fueron los de menor altura de planta. El mayor crecimiento logrado en el T_1 se puede atribuir al efecto provocado por la mayor concentración de N, K y Ca, y a una menor concentración de P en la solución nutritiva suministrada. De acuerdo con Marschner (2012) el N, P, Ca y Mg son importantes para el desarrollo foliar de las plantas, mientras que García *et al*. (2003) mencionan que el suministro adecuado de nutrientes, especialmente nitrógeno (N), es un factor determinante que impacta la acumulación de materia seca en cultivos sometidos a altas densidades de siembra, como en el FVH.

Respecto a la variable RCS los tratamientos T_1 y T_3 resultaron estadísticamente diferentes de los tratamien-

The percentage of fiber or vegetable insoluble matter, which is digested by microbial fermentation in the digestive tract of animals, and not by proteolytic and dialytic enzymes, was quantified by determining the insoluble fiber in neutral detergent by the method of Van Soest and Wine (1967). Meanwhile, the percentage of crude protein was quantified by the micro Kjeldahl procedure proposed by Harris (1970) from the percentage of total nitrogen and multiplied by the factor of 5.83. Nitrate was determined by the colorimetric method of salicylic acid proposed by Cataldo *et al.* (1975).

The analysis of variance and mean comparison test (Tukey, $P \leq 0.05$) of the results obtained were performed using the SAS statistical package.

RESULTS Y DISCUSSION

Quality variables

Table 3 presents the comparison of means by Tukey ($P \leq 0.05$) for plant height (PH), seed conversion ratio (SCR) and yield per square meter (YISM).

Significant differences were observed for the variable PH. The greatest height was achieved with T_1 treatment, which did not exceed T_3. In the same way, treatment T_3 was statistically equal to T_2. Treatment T_4 showed the same effect as T_2, while T_4 and T_0 were not different significantly. Finally, T_5 and T_0 (solely tap water) had the lowest plant height. The biggest growth achieved in T_1 can be attributed to the effect caused by a higher concentration of N, K and Ca, and a lower concentration of P in the nutrient solution supplied. According to Marschner (2012) N, P, Ca and Mg are important for plant leaf development, while García *et al*. (2003) mention that an adequate supply of nutrients, especially nitrogen (N), is a factor that impacts the dry matter accumulation in cultures exposed to high sowing densities, as in the case of HGF.

Regarding the variable SCR, T_1 and T_3 were statistically different from T_5, but equal to T_2, T_4 and T_0. Fertilizing hydroponic green forage using irrigation water with 200 mg·liter^{-1}of nitrogen at least has positive growth effects (Anonymous, 2001). However, although T_4 received more nitrogen compared to treatments T_1 (167.8 mg·liter^{-1}), T_2 (167.7 mg·liter^{-1}), T_3 (170.1 mg·liter^{-1}) and T_5 (49.0 mg·liter^{-1}) height was lower compared to T_2 and T_3 because a high percentage of nitrogen was supplied as NH_4^+, which could have a toxic effect on the plant.

T_4 received 33.4 % of N in the form of NH_4^+; T_1, 0 %, T_5, 11.4 % T_2, 8.3 %, and T_3, 16.6 %. Steiner (1984) suggests that the ammoniacal form of nitrogen should not exceed more than 10 % of the total supply. According to Barker and Mills (1980), the tolerance of plants to external supply and accumulation of NH_4^+ is low, while the tolerance for the NO_3^- is high. Toxic reactions can occur when nutrition with

tos T_5, pero iguales a T_2, T_4 y T_0. La fertilización del forraje verde hidropónico utilizando agua de riego con 200 mg·litro^{-1} de nitrógeno como mínimo tiene efectos positivos en el crecimiento (Anónimo, 2001). Sin embargo, aunque el T_4 recibió mayor cantidad de nitrógeno, que los tratamientos T_1 (167.8 mg·litro^{-1}), T_2 (167.7 mg·litro^{-1}), T_3 (170.1 mg·litro^{-1}) y T_5 (49.0 mg·litro^{-1}) la altura fue menor que el T_2 y T_3 debido a que un alto porcentaje del nitrógeno se suministró en forma de NH_4^+, lo que pudo tener un efecto tóxico sobre la planta.

El T_4 recibió un 33.4 % del N en forma de NH_4^+; el T_1, el 0 %; el T_5, un 11.4 %; el T_2, un 8.3 %, y el T_3, un 16.6 %. Steiner (1984) señala que la forma amoniacal de nitrógeno no debe rebasar más del 10 % del total suministrado. Según Barker y Mills (1980), la tolerancia de las plantas a suministros externos y acumulación de NH_4^+ es baja, mientras que la tolerancia para el NO_3^- es alta. Reacciones tóxicas pueden ocurrir cuando la nutrición con NH_4^+ es excesiva, pero las plantas que acumulan nitratos, pueden distribuirlos por todo el tejido siendo poco afectadas.

La densidad de siembra es uno de los factores que más influye en la altura de la planta (AP). En trigo, Cerrillo (2012) encontró que en un ciclo de 12 días y con una densidad de 5.00 kg·m^{-2} considerada alta obtuvo una altura de planta de 21.96 cm. De acuerdo con la densidad utilizada en el experimento de 3.2 kg·m^{-2}, ninguno de los tratamientos alcanzó una altura cercana a la citada por este investigador. Esto puede indicar que a medida que se incrementa la densidad de siembra, la altura también se incrementa, debido a un proceso de competencia por luz entre las plantas, que promueve la etiolación. Además, para obtener un mejor FVH es indispensable contar con un periodo de luz de 13 a 16 horas, ya sea natural o artificial.

Valdivia (1997), señala que una RCS de 1:5 es un buen logro, pero lo importante es alcanzar rendimientos de 1:6 ó 1:7. Dentro de este intervalo, los tratamientos T_1 y T_3 estarían cumpliendo con una buena RCS, aunque los tratamientos T_2, T_4 y T_0 tienen un RCS dentro del intervalo aceptable.

NH_4^+ is excessive, but the plants accumulating nitrate can distribute them throughout the tissue being little affected.

Sowing density is one of the most influential factors in plant height (PH). In wheat, Cerrillo (2012) found that in a cycle of 12 days and with a density of 5.00 kg·m^{-2} considered high, he obtained a plant height of 21.96 cm. According to the density used in the experiment of 3.2 kg·m^{-2}, none of the treatments reached a height close to that by the researcher. This may indicate that as sowing density increases, height also increases, due to a light competition process between the plants, which promotes etiolation. Moreover, to obtain a better HGF is essential to have a light period of 13 to 16 hours, whether natural or artificial light.

Valdivia (1997) notes that a SCR of 1:5 is a good achievement, but the important thing is to achieve yields of 1:6 or 1:7. Within this range, T_1 and T_3 would be in keeping with good SCR, although treatments T_2, T_4 and T_0 have a SCR within the acceptable range.

For the variable YISM, the best yield was obtained with treatment T_1 with 19.9 kg·m^{-2} on average, a value that was statistically equal ($P \leq 0.05$) to that found with treatments T_3 with 19.2 kg·m^{-2} and T_2 with 18.7 kg·m^{-2}. Moreover, T_4 with 17.6 kg·m^{-2} and T_0 with 17.5 kg·m^{-2} show yields that were statistically equal to treatments T_1, T_2 and T_3. The treatment below these was T_5, whose average was 15.1 kg·m^{-2}, although it is statistically equal to treatments T_0 and T_4. The yields obtained are lower than those obtained by Cerrillo *et al*. (2012), who reached a yield of 30 kg·m^{-2} of biomass after 12 days of growth with a sowing density of 5.0 kg·m^{-2} of wheat seed. The highest yield obtained with T_1 was 19.9 kg·m^{-2} with 168.1 mg·liter^{-1} of N. This can established that the concentration of nitrogen and sowing density tend to increase the yield.

How the various nutrients relate in the nutrient solution affects the crop productivity because both anions and cations interact, since the absorption of nutrients made by

CUADRO 3. Comparación de medias de cuatro repeticiones para las variables AP, RC y REMC después de 15 días de la siembra.

TABLE 3. Mean comparison of four replications for the variables PH, CR and YISM after 15 days of sowing.

Tratamiento / Treatment	AP / PH (cm)	RCS / CR (kg)	REMC /YISM (kg·m^{-2})
T_0	10.90 de[z]	5.50 ab	17.525 ab
T_1	14.85 a	6.25 a	19.950 a
T_2	12.67 bc	5.85 ab	18.700 a
T_3	13.70 ab	6.05 a	19.225 a
T_4	12.20 cd	5.53 ab	17.675 ab
T_5	10.57 e	4.73 b	15.125 b

AP= altura de planta; RCS= relación de conversión de semilla a forraje; REMC= rendimiento de forraje fresco en kg·m^{-2}.

[z]Valores con diferente letra en la misma columna son diferentes según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

PH= plant height; SCR = seed conversation ratio to forage, YISM= fresh forage yield in kg·m^{-2}

[z]Values with different letter in the same column are different according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

Para la variable REMC se tiene que el máximo rendimiento se obtuvo con el tratamiento T_1 con 19.9 kg·m^{-2} en promedio, valor que fue estadísticamente igual ($P \leq 0.05$) al encontrado con los tratamientos T_3 con 19.2 kg·m^{-2} y T_2 18.7 kg·m^{-2}. Por otro lado, el T_4 con 17.6 kg·m^{-2} y T_0 con 17.5 kg·m^{-2} presentan rendimientos que fueron estadísticamente iguales a los tratamientos T_1, T_2 y T_3. El tratamiento que estuvo por debajo de éstos fue el T_5, cuya media fue de 15.1 kg·m^{-2}, aunque estadísticamente es igual a los tratamientos T_0 y T_4. Los rendimientos obtenidos están por debajo de los que obtuvieron Cerrillo *et al*. (2012), quienes con una densidad de siembra de 5.0 kg·m^2 de semilla de trigo alcanzaron un rendimiento de 30 kg·m^{-2} de biomasa después de 12 días de crecimiento. El valor más alto de rendimiento que se obtuvo con el T_1 fue de 19.9 kg·m^{-2} con 168.1 mg·litro^{-1} de N. Con esto se puede establecer que la concentración de nitrógeno y la densidad de siembra tienden a incrementar el rendimiento.

La relación que guardan los diferentes nutrientes dentro de la solución nutritiva incide en la productividad de los cultivos debido a que interaccionan tanto aniones como cationes, puesto que la absorción de nutrientes efectuada por las raíces de las plantas es selectiva, y depende de factores climáticos, así como de la fase de crecimiento en que el cultivo se encuentre, además de las concentraciones disponibles de los nutrientes (Papadopoulus *et al*., 2002). El forraje verde hidropónico es rico en minerales, entre los que destacan cobre, fósforo, zinc, calcio, magnesio, sodio, hierro, manganeso y potasio. Una solución nutritiva con una concentración de potasio y nitrógeno similares promueve el crecimiento vegetativo, en especial aquellas que contengan 200 mg·litro^{-1} de ambos. Cuando el potasio se incrementa en relación al nitrógeno general una relación de 1.5, promueve el crecimiento reproductivo (López *et al*. 2011).

Variables determinadas en el laboratorio

En el Cuadro 4 se muestran los resultados de la comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$) de la materia seca, cenizas, fibra, proteínas y concentración de nitrato. El tratamiento T_5 presentó el mayor rendimiento de materia seca, pero resultó estadísticamente igual a T_0, T_1, T_2 y T_4, aunque diferente al T_3. Por su parte el T_3 resultó estadísticamente igual a los tratamientos T_0, T_1, T_2 y T_4. Lo que pudo ocurrir con los tratamientos que tuvieron mayor altura y menor porcentaje de materia seca fue un proceso de etiolación que produjo hojas delgadas debido a la competencia por luz.

En la comparación de medias para la variable cenizas se pueden observar diferencias significativas en los tratamientos. El mayor porcentaje de cenizas se obtuvo con los tratamientos T_1, T_2, T_3 y T_4, los cuales resultaron estadísticamente iguales. Por su parte, entre los tratamientos T_4, T_0 y T_5 no se encontraron diferencias significativas. La única diferencia estadística que se encontró fue entre los tratamientos T_1, T_2 y T_3 comparados con los the plant roots is selective, and depends on climatic factors as well as the growth phase in which the crop is, and the available concentrations of nutrients (Papadopoulos *et al*., 2002). The hydroponic green forage is rich in minerals, among them copper, phosphorus, zinc, calcium, magnesium, sodium, iron, manganese and potassium. A nutrient solution with a similar concentration of potassium and nitrogen promotes vegetative growth, particularly those containing 200 mg·liter^{-1} of both. When potassium is increased with respect to the general nitrogen in a ratio of 1.5 promotes reproductive growth (López *et al.* 2011).

Variables determined in the laboratory

Table 4 shows the results of the Tukey means comparison ($P \leq 0.05$) of dry matter, ash, fiber, protein and nitrate concentration. Treatment T_5 showed the highest dry matter yield, but statistically equal to T_0, T_1, T_2 and T_4, but different to T_3. T_3 was statistically equal to T_0, T_1, T_2 and T_4. What could happen with treatments with higher height and lower percentage of dry matter was a process of etiolation that produced thin leaves due to the competition for light.

In the comparison of means for the variable ash, we can observe significant differences in treatments. The highest percentage of ash was obtained with treatments T_1, T_2, T_3 and T_4, which were statistically equal. Meanwhile, treatments T_4, T_5 T_0 did not show significant differences. The only statistical difference was found among treatments T_1, T_2 and T_3 compared with T_0 and T_5. The results of ash were lower to those reported by Vargas-Rodriguez (2008) for hydroponic forage rice (*Oryza sativa*, var. CR-4477) and sorghum (*Sorghum almum*, var. UCREEAVM), harvested 20 days after sowing and fertilized with a nutrient solution of 250 mg·liter^{-1} of NO_3^-, which were 9.17 and 6.54 %, respectively, while maize (*Zea mays*, var. LD-8843) was lower (2.41 %) than that determined in wheat.

According to these results, the amount of ash contained by the forage increases with the supply of nitrogen. This happened in treatments T_1, T_2, T_3 and T_4, which had the highest amount of N. These percentages of ash were similar to those reported Pound *et al*. (1995) for wheat cv. Hard Winter (2.0 %) and Soft White (1.8 %), for ryegrass (2.1 %), barley (2.7 %) oats (3.7 %) and sorghum (2.1 %). He also states that nutritionally ash value is unimportant, although excessively high values may indicate that soil was contaminated or contains salts. According to Crampton and Harris (1979), the reason that the ashes of plant products are an index of little value, is that their composition is highly variable, not only in its entirety but also in their partial components. Also, many plant foods are rich in silicon, which has no nutritional value and can be dangerous.

With respect to the variable fiber, the treatment with highest percentage was T_0 (66.1). However, no significant differences in treatments T_1, T_2, T_3 and T_4 were ob-

tratamientos T_0 y T_5. Los resultados de cenizas fueron menores a los que reporta Vargas-Rodríguez (2008) para forraje verde hidropónico de arroz (*Oryza sativa*, var. CR-4477) y sorgo (*Sorghum almum*, var. UCREEAVM), cosechado a los 20 días después de la siembra y fertilizados con una solución nutritiva de 250 mg·litro^{-1} de NO_3^-, los cuales fueron de 9.17 y 6.54 %, respectivamente, mientras que el de maíz (*Zea mays*, var. LD-8843) fue inferior (2.41 %) al determinado en trigo.

De acuerdo con estos resultados, la cantidad de cenizas que contiene el forraje se incrementa con el suministro de nitrógeno. Esto sucedió en los tratamientos T_1, T_2, T_3 y T_4, que tuvieron la mayor cantidad de N. Estos porcentajes de cenizas resultaron similares a los que reportan Pound *et al.* (1995): para trigo cv. Hard Winter (2.0 %) y Soft White (1.8 %), para pasto ballico (2.1 %), en cebada (2.7 %), para avena (3.7 %) y para sorgo (2.1 %). También establecen que, nutricionalmente, el valor de las cenizas tiene poca importancia, aunque valores excesivamente altos pueden indicar que existió contaminación con suelo o sales. Según Crampton y Harris (1979), la razón de que las cenizas de los productos vegetales sean un índice de poco valor, es que la composición de éstas es sumamente variable, no sólo en su totalidad sino también en sus componentes parciales. Además, muchos alimentos vegetales son ricos en silicio, elemento que carece de valor nutritivo y que puede ser un peligro.

Con relación a la variable fibra, el tratamiento que mayor porcentaje produjo fue el T_0 (66.1). Sin embargo, no hubo diferencias significativas con los tratamientos T_1, T_2, T_3 y T_4. Las diferencias fueron significativas solo entre los tratamientos T_0 y T_5. De acuerdo con McDonald *et al.* (1981), hay una relación recíproca entre la fibra cruda y la proteína cruda, aunque esta relación puede ser revertida por la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

Un valor de fibra detergente neutra (FDN) que determinaron Herrera-Torres *et al.* (2010) para forraje verde de trigo fue de 51.79 %. Horrocks y Vallentine (1999) determinaron en pasto bermuda una concentración de 68 % de FDN. Al served. Only between T_0 and T_5 significant differences were observed. According to McDonald *et al*. (1981), there is a reciprocal relationship between crude fiber and crude protein, although this relationship may be reversed by the application of nitrogen fertilizers.

A value of neutral detergent fiber (NDF) determined by Herrera-Torres *et al*. (2010) for wheat green forage was 51.79 %. Horrocks and Vallentine (1999) determined a concentration of 68 % NDF in Bermuda grass. At the beginning of the vegetative growth and ADF was determined 30 % of fiber was obtained. In ryegrass at the same stage as Bermuda grass, we found a 61 % NDF and 38 % acid detergent fiber (ADF).

Espejo and Pearson (1979) report that the amount of fiber in young plants is low if it is compared with the mature plant, since this fiber structure also changes as the plant progresses; the plant becomes lignified, therefore less digestible. A high amount of fiber in the diet of the animal decreases the percentage of protein in the feed and reduces the weight of the livestock. Seed residue remaining after planting it for germination is another factor that can influence the concentration of the fiber.

Comparison of means for the variable protein showed significant differences among treatments. The largest percentage was determined in T_2 (19.0 %) and T_1 (18.5 %), which were statistically similar to treatments T_3 (17.9 %) and T_4. On the other hand, T_0, T_4 and T_5 showed no significant differences. In protein concentration, T_1 and T_2 differ significantly with respect to T_0 and T_5, while treatment T_3 was significantly different from T_5.

Herrera-Torres *et al*. (2010) in wheat germ (*Triticum aestivum* L) found crude protein concentrations of 13.4, 21.5 and 12.6 %, tested 8, 10 and 12 days after sowing, so that there is not a specified average protein, as this protein varies depending on the production conditions of hydroponic green forage. The protein concentration after 15 days of growth, tends to increase as the N concentration of the nutrient solution increases to values of 200 mg·litro[1]. A

CUADRO 4. Comparación de medias para materia seca, cenizas, fibra, proteína y concentración de nitrato.

TABLE 4. Comparison of means for dry matter, ash, fiber, protein and nitrate concentration.

	Materia seca / Dry matter %	Cenizas / Ash %	Fibra / Fiber %	Proteína / Protein %	Nitrato / Nitrate mg·kg^{-1}
T_0	9.9250 ab^z	2.9500 b	66.150 a	15.300 bc	3542.2 a
T_1	9.3750 ab	4.0500 a	62.575 ab	18.575 a	4609.1 a
T_2	9.7250 ab	3.9250 a	64.625 ab	19.000 a	5124.6 a
T_3	9.1750 b	3.9000 a	57.950 ab	17.900 ab	3348.2 a
T_4	10.5500 ab	3.4750 ab	64.350 ab	16.750 abc	4538.6 a
T_5	12.2500 b	2.7500 b	54.925 b	14.325 c	4345.8 a

^{z} Valores con diferente letra en la misma columna son diferentes según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$)

^{z} Values with different letter in the same column are different according to the Tukey test ($P \leq 0.05$)

comienzo del crecimiento vegetativo y cuando se le hizo la determinación de FDA, resultó un 30 % de fibra. En pasto ballico en la misma etapa que el pasto bermuda, se encontró un 61 % de FDN y un 38 % de fibra detergente ácida (FDA).

Espejo y Pearson (1979) señalan que la cantidad de fibra en plantas jóvenes es baja si se compara con la planta madura, ya que la estructura de esta fibra cambia también a medida que evoluciona la planta, pues se hace más lignificada y, por lo tanto, menos digestible. Una elevada cantidad de fibra en la ración del animal disminuye el porcentaje de proteína en el alimento y reduce el peso del ganado. Otro factor que puede influir en la concentración de la fibra son los restos de semilla que quedaron después de la siembra de ésta para su germinación.

La comparación de medias para la variable proteína presentó diferencias significativas entre los tratamientos. El porcentaje mayor se determinó en los tratamientos T_2 (19.0 %) y T_1 (18.5 %), los cuales fueron estadísticamente iguales a los tratamientos T_3 (17.9 %) y al T_4. Por su parte, los tratamientos T_0, T_4 y T_5 no mostraron diferencias significativas. En concentración de proteína, los tratamientos T_1 y T_2 presentaron diferencias significativas con respecto a los tratamientos T_0 y T_5, mientras que el tratamiento T_3 fue significativamente diferente de T_5.

Herrera-Torres *et al*. (2010), en germinados de trigo (*Triticum aestivum* L), encontraron concentraciones de proteína cruda de 13.4, 21.5 y 12.6 %, analizadas a los 8, 10 y 12 días después de la siembra, por lo que no existe una concentración de proteína promedio específica, ya que ésta varía en función de las condiciones de producción del forraje verde hidropónico. La concentración de proteína al cabo de 15 días de crecimiento, tiende a aumentar a medida que se incrementa la concentración de N de la solución nutritiva, hasta valores de 200 mg·litro^{1}. Una concentración mayor de 400 mg·litro^{-1} de nitrato no aumenta la concentración de proteína, si no por el contrario, lo disminuye (Anónimo, 2001). Esto explica el por qué los tratamientos T_1 y T_2, que recibieron las más altas concentraciones de nitrógeno total, tuvieron los porcentajes mayores de proteína.

La especie es otro factor que está relacionado con el contenido proteico. Vargas-Rodríguez (2008), al estudiar muestras de FVH tomadas a los 14 días de ciclo de producción, encontró concentraciones de proteína de 10.47 % en sorgo, 9.61 % en maíz y 9.17 % en arroz. Herrera-Torres *et al.* (2010) señalan que en trigo pueden encontrase valores de hasta 21.5 % de proteína cruda a los 10 días después de la siembra. En ciertos casos, por estrategia de manejo interno de los establecimientos, la cosecha se realiza a los 14 o 15 días, a pesar que varios estudios científicos han demostrado que el ciclo no debe extenderse más allá del día 12, ya que a partir de este día se inicia un marcado descenso en el valor nutricional del FVH. Por su parte, McDonald *et al.* (1981) señalan que entre más crece la planta, la concentración de proteína decrece, aunque con la aplicación greater than 400 mg·litro^{1} of nitrate does not increase the protein concentration, but by contrast, it declines the concentration (Anonymous, 2001). This explains why T_1 and T_2, which received the highest concentrations of total nitrogen, had higher percentages of protein.

The species is another factor that is related to the protein content. Vargas-Rodríguez (2008), by studying HGF samples taken after 14 days of the production cycle, found protein concentrations of 10.47 % in sorghum, 9.61 % in maize and 9.17 % in rice. Herrera-Torres *et al*. (2010) report that wheat can have values up to 21.5 % of crude protein at 10 days after sowing. In some cases, for internal management strategy establishments, harvesting is done at 14 or 15 days, despite several scientific studies have shown that the cycle should not be extend beyond the 12th day, because at that day begins a marked decline in the nutritional value of HGF. Furthermore, McDonald *et al.* (1981) indicates that the more the plant grows, the protein concentration decreases, but with the application of nitrogen fertilizer this can be reversed. Oat at 15 days of the cycle, with a doses of 0, 100 and 200 mg of N·kg^{-1} soil provided 278, 289 and 432 g·m^{-2} of crude protein (Anonymous, 2001). Horrocks and Vallentine (1999) found a 16 % of protein in Bermuda grass grown in open field at the beginning of its growth; pangola grass at late vegetative growth showed 11.5 % of protein, and Bahia grass, 8.9 %. These grasses have a much lower protein content than T_2 (19.00 %), T_1 (18.57 %), T_3 (17.90 %) and T_4 (16.75 %). However, red clover at the beginning of flowering had 19.4 % of protein, and at late flowering the concentration decreased to 14.6 %. Although at the beginning the red clover had a greater concentration of protein compared to treatments T_1, T_2, T_3, T_4, at the end it was lower than these. With this, we can consider that the protein content of hydroponic green forage is acceptable. In addition, it is possible to set a harvest date to keep the protein or to have the highest concentration, because throughout the year we could keep constant the protein content of the forage.

With respect to the concentration of nitrate, treatments were not significantly different. Although concentrations were statistically equal, T_2 showed higher nitrate concentration because the nitrogen source was primarily ammonia. According to Barker and Mills (1980), plants increase nitrogen acquisition.

It is worth mentioning that T_0 did not receive nitrogen, however, it had a greater accumulation NO_3^-, but statistically similar as T_3, which was derived from the reserve nitrogen contained in the seed. Also it is important to mention that T_0 had lower PH and less YISM, which may be a dilution effect: having lower growth, the concentration of minerals increases, including NO_3^-. T_3 treatment received 10 mmol·liter^{-1} of NO_3^- and 2.0 mmol·litro^{-1} of NH_4^+, so that the concentration of NO_3^- were greater. In this regard, Barker and Mills (1980) report that the reduction of nitrate and the subsequent assimilation of nitrogen to organic compounds are closely related to photosynthesis, since much of the energy used for the

cación de fertilizantes nitrogenados puede revertirse. En avena de 15 días de ciclo, con dosis de 0, 100 y 200 mg de N·kg^{-1} de suelo, se obtuvieron 278, 289 y 432 g·m^{-2} de proteína bruta (Anónimo, 2001). Horrocks y Vallentine (1999) encontraron un 16 % de proteína en bermuda cultivado a campo abierto a principio de su crecimiento; en pasto pangola a finales del crecimiento vegetativo encontraron un 11.5 %, y en pasto bahía, 8.9 %. Dichos pastos tienen un contenido de proteína mucho menor que el T_2 (19.00 %), T_1 (18.57 %), T_3 (17.90 %) y T_4 (16.75 %). Sin embargo, en trébol rojo a inicio de la floración se determinó un 19.4 % de proteína, y a finales de floración la concentración disminuyó a 14.6 %. Aunque al principio el trébol tuvo una mayor concentración de proteína que los tratamientos T_1, T_2, T_3, T_4, al final fue menor que el de éstos. Con ello, se puede considerar que el contenido de proteína del forraje verde hidropónico es bueno. Además, se puede establecer una fecha de cosecha para no perder proteína o para tener la mayor concentración, pues durante todo el año se podría mantener constante el contenido de proteína del forraje.

Respecto a la concentración de nitrato, los tratamientos no mostraron diferencias significativas. Aunque las concentraciones fueron iguales estadísticamente, el tratamiento T_2 mostró la más alta concentración de nitrato debido a que la fuente de nitrógeno fue principalmente amonio. De acuerdo con Barker y Mills (1980), las plantas incrementan la adquisición de nitrógeno.

Cabe señalar que al T_0 no se le suministró nitrógeno, y sin embargo, se presentó una acumulación de NO_3^- mayor, pero estadísticamente igual que el T_3, la que se derivó del nitrógeno de reserva contenido en la semilla. También cabe destacar que el T_0 presentó menor AP y menor REMC, lo que puede ser un efecto de dilución: al haber menor crecimiento se incrementa la concentración de los minerales, entre ellos los NO_3^-. Por su parte, al tratamiento T_3 se le aplicaron 10 mmol·litro^{-1} de NO_3^- y 2.0 mmol·litro^{-1} de NH_4^+, por lo que la concentración de NO_3^- hubiera sido mayor. Al respecto, Barker y Mills (1980) señalan que la reducción de nitrato y la posterior asimilación del nitrógeno a compuestos orgánicos están muy relacionadas con la fotosíntesis, ya que gran parte de la energía utilizada para hacer la transformación de nitrato a compuestos orgánicos se deriva de ésta. Los tratamientos que tuvieron mayor aplicación de nitrato fueron T_1, T_2, T_3 y T_4, los cuales mostraron una mayor concentración de NO_3^-, excepto el T_3. Esto concuerda con lo reportado por Barker y Mills (1980), quienes mencionan que la absorción de nitrato se incrementa marcadamente cuando el suministro externo es alto y los días son nublados y fríos. Por otra parte, Marschner (2012) reporta que elevadas concentraciones de nitrato en ciertas especies y en órganos de plantas es indicativo de un desbalance entre fuente y demanda. Posiblemente, el T_3 tuvo un mayor desbalance pero utilizó el nitrógeno suministrado como nitrato para formar proteínas en lugar de acumularlos. Para los valores de proteína más altos, T_2 y T_1 tuvieron de igual manera concentraciones altransformation of nitrate to organic compounds is derived thereof. T_1, T_2, T_3 and T_4 had the highest nitrate application, which showed a higher concentration of NO_3^-, except for T_3. This is consistent with that reported by Barker and Mills (1980), who report that nitrate uptake is markedly increased when the external supply is high and the days are cloudy and cold. Moreover, Marschner (2012) reported that high concentrations of nitrate in certain species and plant organs are indicative of an imbalance between supply and demand. Perhaps, T_3 had a greater imbalance but used the nitrogen supplied as nitrate to form proteins instead of accumulating them. For the highest protein values, T_2 and T_1 had equally high concentrations of nitrate. Horrocks and Vallentine (1999) note that the fast-growing plants, which tend to accumulate nitrate, are favored by water stress.

The nitrate concentration of T_2 is considered toxic, according to Nurdilek *et al*. (2010), who indicate that a concentration of NO_3^- in forage less than 3000 mg·kg^{-1} based on dry matter is safe, but a concentration greater than 10,000 mg·kg^{-1} is toxic to most cattle. For Horrocks and Vallentine to (1999), plants accumulating high levels of NO_3^- (5,000 to 15,000 mg·kg^{-1}) can poison a ruminant.

Treatment plants that had NO_3^- concentrations below the toxic level were T_1 (4609.1 mg·kg^{-1}), T_4 (4538.6 mg·kg^{-1}) and T_5 (4345.8 mg·kg^{-1}). McDonald *et al.* (1981) indicate that symptoms of poisoning can occur at NO_3^- concentrations of 7,000 mg·kg^{-1} based on dry matter. This value is much higher than indicated by Pound *et al*. (1995), who mentioned that at NO_3^- levels of 700 mg·kg^{-1} symptoms of toxicity may appear, and that concentrations of about 2,200 mg·kg^{-1} can be fatal for ruminants. Church (1974) mentions that the rapid consumption of forages with high nitrate concentrations is a critical factor in any animal. Ruminants can tolerate portions containing appreciable amounts of nitrate because rumen microorganisms have the ability to reduce nitrate to ammonium, which is better used (Pound *et al.,* 1995).

CONCLUSIONS

Based on the experimental conditions it can be concluded that the addition of nitrogen in the form of nitrate increases height, conversion ratio, yield per square meter, protein content and amount of nitrate in the plant.

When N is not added, the protein percentage is similar to that recorded in plants treated with nutrient solutions with low concentration of this element, with the advantage that the nitrate concentration is classified as nontoxic.

T_3 can be considered as optimal, with 17.9 % of protein and a nitrate concentration of 3348.2 mg·kg^{-1}, which is considered safe for animal feed.

End of English Version

tas de nitrato. Horrocks y Vallentine (1999) señalan que las plantas de crecimiento rápido, que tienden a acumular nitrato, se ve favorecido por el estrés hídrico.

La concentración de nitrato que tuvo el T_2 es considerada tóxica, según Nurdilek *et al*. (2010), quienes indican que una concentración de NO_3^- en el forraje menor de 3000 mg·kg^{-1} con base en materia seca es segura, pero una concentración superior a los 10,000 mg·kg^{-1} es toxica para la mayoría de los bovinos. Para Horrocks y Vallentine (1999), las plantas que acumulan niveles altos de NO_3^- (5,000 a 15,000 mg·kg^{-1}), puede ocurrir un envenenamiento en rumiantes.

Las plantas de los tratamientos que tuvieron concentraciones de NO_3^- por debajo del nivel tóxico fueron el T_1 (4,609.1 mg·kg^{-1}), T_4 (4,538.6 mg·kg^{-1}) y T_5 (4,345.8 mg·kg^{-1}). McDonald *et al.* (1981) indican que los síntomas de intoxicación pueden ocurrir a concentraciones de NO_3^- de 7,000 mg·kg^{-1} con base en materia seca. Este valor es mucho mayor que el indicado por Pound *et al.* (1995), quienes mencionan que a niveles de NO_3^- de 700 mg·kg^{-1} pueden presentarse síntomas de toxicidad, y que concentraciones del orden de 2,200 mg·kg^{-1} pueden ser fatales para los rumiantes. Church (1974) menciona que el consumo rápido de forrajes con altas concentraciones de nitrato es un factor crítico en cualquier animal. Los rumiantes pueden tolerar raciones que contienen cantidades apreciables de nitrato debido a que los microorganismos del rumen tienen la capacidad de reducir el nitrato a amonio, el cual es mejor utilizado (Pound *et al.,* 1995).

CONCLUSIONES

Con base en las condiciones experimentales se puede concluir que la adición de nitrógeno en forma de nitrato incrementó la altura, relación de conversión, el rendimiento por metro cuadrado, el contenido proteico y la cantidad de nitrato en la planta.

Cuando no se adiciona N el porcentaje de proteína es similar al registrado en plantas tratadas con soluciones nutritivas con baja concentración de este elemento, con la ventaja de que la concentración de nitrato es clasificada como no tóxica.

El tratamiento T_3 puede considerarse como óptimo, con 17.9 % de proteína y con una concentración de nitrato de 3,348.2 mg·kg^{-1}, la cual se considera segura para la alimentación animal.

LITERATURA CITADA

ANÓNIMO. 1995. Official methods of Analysis of the Association of Official AnalyticalChemist‖, 16th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.

ANÓNIMO. 2001. Manual Técnico: Forraje verde hidropónico. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe Editorial. FAO. Santiago de Chile. 55 p.

ANÓNIMO, 2012. Estadísticas a propósito del día mundial de la lucha contra la desertificación y la sequía. Aguascalientes, México. 10 p. http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=inegi&c=2840&pred=1

BARKER, V. A.; MILLS, H. A. 1980. Ammonium and nitrate nutrition of horticultural crops, pp. 395-423. *In*: Horticultural Reviews 2. JANICK, J (ed.). John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, United States of America. doi: 10.1002/9781118060759.ch8

CERRILLO S., M. A.; JUÁREZ R., A. S.; RIVERA A., J. A.; GUERRERO C., M.; RAMÍREZ L., R. G.; BERNAL B., H. (2012). Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. Interciencia 37(12):903-913. http://www.interciencia.org/v37_12/906.pdf

CATALDO, D. A; HAROON, M.; SCHIANDER, L. E.; YOUNGS, V. L. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid[1]. Communications in Soil Science and Plant Analysis 6(1): 71-80. doi: 10.1080/00103627509366547

CHURCH, D. C. 1974. Fisiología Digestiva y Nutrición de los Rumiantes. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 483p.

CRAMPTON, E. W.; HARRIS L. E. 1979. Nutrición Animal Aplicada. 2da edición. Acribia. Zaragoza, España. 756 p.

ESPEJO S., J.; PEARSON H., G. 1979. Explotación de Pastos. Acribia. Zaragoza, España 155 p.

GARCÍA-ESTEVA, A.; KOHASHI-SHIBATA, J.; BACA-CASTILLO, G. A.; ESCALANTE- ESTRADA, J. A. S. 2003. Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo. Terra Latinoamericana 21(4): 471-480. http://www.redalyc.org/pdf/573/57321403.pdf

GULMEZOGLU, N.; TOLAY, I.; ASKIN, A. 2010. Changes in nitrate concentration of triticale forages (xTriticosecale Wittmack) at different growth stages by increasing nitrogen rates. Journal of Food, Agriculture and Environment 8 (2): 449-453. http://world-food.net/changes-in-nitrate-concentration-of-triticale-forages-xtriticosecale-wittmack-at-different-growth-stages-by-increasing-nitrogen-rates/

HARRIS, L. E. 1970. Método para el análisis químico y evaluación biológica de alimentos para animales. Edited by Center for Tropical Agriculture. Feed Composition Project. Livestock Pavilion. U. of Florida. Gainesville, Florida

HERRERA-TORRES, E.; CERRILLO-SOTO, M. A.; JUÁREZ-REYES, A. S.; MURILLO- ORTÍZ, M.; RÍOS-RINCÓN, F. G.; REYES-ESTRADA, O.; BERNAL-BARRAGÁN, H. 2010. Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. Interciencia 35(4): 284-289. http://www.interciencia.org/v35_04/284.pdf

HORROCKS, D. R.; VALENTINE, J. F. 1999. Harvested Forages. Academic Press. San Diego, California, United States of America. 426 p. http://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=SPKEze_fde0C&oi=fnd&pg=PP2&dq=HORROCKS,+DWAIN.+RODNEY+AND+VALLENTINE+JOHN.+F.+1999.+Harvested+Forages.+Academic+press.+&ots=4rzNZ4SeY9&sig=wAo1rxRVdXwHcb9y1IruaImsC2E

LOPEZ A., R.; MURILLO, B.; TROYO, E.; RODRÍGUEZ, G.; ROMERO, J. J.; LÓPEZ, R.; NARANJO, A. 2012. Forraje verde hidropónico, una alternativa para el ganado de zonas áridas. Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo de México 5(107):1-26. http://pcti.mx/articulos?task=callele

ment&format=raw&item_id=409&element=02ff58a2-d75a-4c03-874d-37c9baa9f652&method=download

LÓPEZ A., P. P.; CANO M., A.; RODRÍGUEZ R., G. S.; TORRES F., N.; RODRÍGUEZ R., S. M.; RODRÍGUEZ R., R. 2011. Efecto de diferentes concentraciones de potasio y nitrógeno en la productividad de tomate en cultivo hidropónico. Tecnociencia Chihuahua 5(2): 98-104. http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v5n2/data/Efecto_de_diferentes_concentraciones_de_potasio_y_nitrogeno_en_la_productividad_de_tomate_en_cultivo_hidroponico.pdf

LÓPEZ-AGUILAR, R.; MURILLO-AMADOR, B.; RODRÍGUEZ-QUEZADA, G. 2009. El forraje verde hidropónico (FVH): una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. Interciencia 34(2): 121-126. http://www.interciencia.org/v34_02/121.pdf

MARSCHNER, H. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. Third Edition. Academic Press. London, Great Britain. 889 p. http://www.sciencedirect.com/science/book/9780123849052

McDONALD, P. R; EDWARDS, A.; GREENHALGH, J. F. D. 1981. Animal nutrition. Third Edition. Longman. London, Great Britain. 479 p.

PAPADOPOULOS, A. P.; DENNERS, D. A.; THERIAULT, J. 2002. The Canadian greenhouse vegetable industry with special emphasis on artificial lighting. Acta Horticulturae 580(1): 29-33. http://www.actahort.org/books/580/580_2.htm

POUND, W. G.; CHURCH, D. C.; POUND, K. R. 1995. Basic animal nutrition and feeding. Fourth edition. John Wiley and Sons. New York, United States of America.

RESH, M. H. 2001. Cultivos hidropónicos. Quinta Edición. Mundi-Prensa. España. 558p.

ROMERO V., M. E.; CÓRDOVA, D. G.; HERNÁNDEZ G., O. E. 2009. Producción de Forraje Verde Hidropónico y su Aceptación en Ganado Lechero. Acta Universitaria 19(2): 11-19. http://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/93/80

STEINER, A. A. 1984. The universal nutrient solution. Proceedings 6th International Congress on Soilles Culture. Wageningen. The Netherlands. pp. 633-650.

STEINER, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and Soil 15(2):134–154. doi:10.1007/BF01347224

VALDIVIA B., E. 1997. Producción de forraje verde hidropónico. Conferencia Internacional de Hidroponía Comercial. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima, Perú. pp. 91-99.

VAN SOEST, P. J.; WINE, R. H. 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. Journal of the Association of Official Analytical Chemists 50: 50-55.

VARGAS-RODRÍGUEZ, C. F. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. Agronomía Mesoamericana 19(2): 233-240. http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/5005/4812